

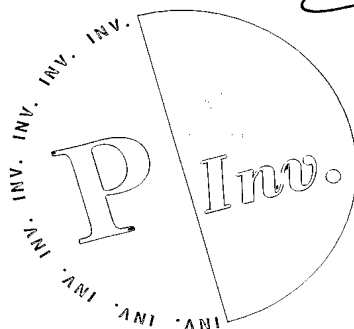


REC'D 18 JAN 2005  
WIPO (PCT)

# CERTIFICADO DE PEDIDO DE PATENTE DE INVENÇÃO

O pedido foi apresentado no INPI no dia 18 de Dezembro de 2003.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 29 de Dezembro  
de 2004



*Pelo Presidente do Conselho de Administração  
do Instituto Nacional da Propriedade Industrial*

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**INSTITUTO NACIONAL  
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

Campo das Cebolas - 1149-035 LISBOA - Portugal  
 Telef.: +351 21 881 81 00 - Linha Azul: 808 20 06 89  
 Fax: +351 21 886 00 66 - +351 21 887 53 08  
 E-mail: [inpi@mail.telepac.pt](mailto:inpi@mail.telepac.pt)

Patente de Invenção    Nº 103053

Data do Pedido: 2003.12.18

Requerente(s):

UNIVERSIDADE DO MINHO  
LG DO PAÇO, 4700-320 BRAGA PT

Inventor(es):

JOSÉ ANTÓNIO COLAÇO GOMES COVAS  
RUA CÂNDIDO OLIVEIRA, 195-H35, 4700 BRAGA,  
PEDRO ANTÓNIO MOREIRA MACHADO COSTA  
AV MAR HUMBERTO DELGADO 603 3, ANTAS, 4760-012 VILA NOVA DE FAMALICÃO

Epígrafe ou Título: MICRO-LINHA DE EXTRUSÃO

Reivindicação de Prioridade (Convenção de Paris)

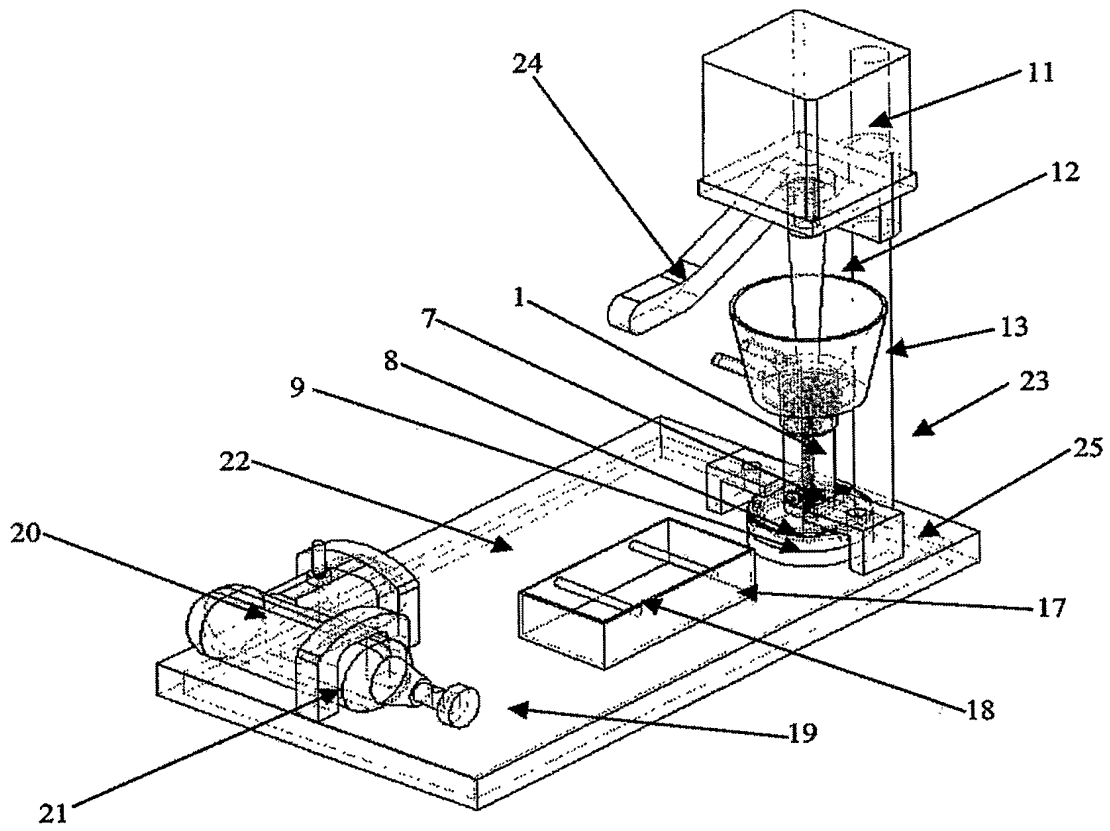
Nº Pedido	Data de Pedido	País de origem

RESUMO

"MICRO-LINHA DE EXTRUSÃO"

A invenção refere-se a uma micro-linha de extrusão, composta por uma micro-extrusora (1), de parafuso (2), uma fieira (7), uma tina de arrefecimento (17) e um rolo de puxo (19) que, em conjunto, possibilitam a manufactura de perfis extrudidos utilizando pequenas quantidades de material. A rotação do parafuso da micro-extrusora, conjugada com a temperatura elevada provocada pelas bandas de aquecimento, proporciona o transporte, fusão, mistura e bombagem do material através da fieira. O extrudido é arrefecido numa tina contendo um fluido arrefecedor, e enrolado numa bobina (19) que gira a uma velocidade superior à de extrusão, de forma a controlar-se a secção transversal.

- 2 -



## DESCRIÇÃO

### "MICRO-LINHA DE EXTRUSÃO"

#### Antecedentes da invenção

Alguns dos produtos de grande consumo em plástico, tais como tubos, perfis, filmes transparentes, ráfias, fitas, monofilamentos, chapas e fios eléctricos, são fabricados em linhas de extrusão específicas, concebidas para trabalhar às mais altas cadências de produção. Estas linhas incluem geralmente uma extrusora (que funde, homogeniza e pressuriza o polímero), a cabeça de extrusão (que enforma o fundido) e o equipamento acessório (que calibra e arrefece, manipula, enrola ou corta o extrudido, etc.). A automatização e controlo de processos permitem atingir débitos que variam entre as poucas centenas e o milhar de quilogramas-hora, consoante a secção transversal a extrudir, o polímero a processar e a sofisticação do equipamento, o que é significativo quando se considera a baixa massa específica dos materiais plásticos (tipicamente entre 0.9 e 1.5 g/cm<sup>3</sup>). Por outro lado, os diversos fabricantes de equipamento disputam entre si a capacidade de desenvolver soluções construtivas inovadoras, que melhorem o desempenho funcional dos equipamentos, nomeadamente a capacidade de mistura e de fusão, as perdas de carga associadas aos escoamentos e o ambiente termo-mecânico a que o material a ser processado é sujeito.

No entanto, os débitos citados indiciam os elevados custos associados ao desenvolvimento de novos materiais e/ou produtos. A produção de extrudidos para a caracterização física e mecânica de novos materiais, ou de amostras de novos produtos, requerem consumos substanciais de material e tempo, dada a dimensão dos equipamentos, a relativa complexidade das operações de arranque e paragem e o tempo associado à obtenção de um regime estacionário de operação. Por esse motivo, existe uma oferta (ainda que relativamente limitada) de linhas de extrusão laboratoriais, que trabalham com taxas de produção de alguns (geralmente entre 3 e 50) quilogramas-hora. O objectivo é, obviamente, realizar experiências/produções com menores gastos de material e, subsequentemente, fazer o *scale-up* para a escala de produção industrial.

Porém, em diversas situações, estes equipamentos apresentam ainda consumos excessivos. Com efeito, a síntese em laboratório de novos polímeros ou co-polímeros, de polímeros existentes mas com distribuição de massa molecular controlada rigorosamente, ou ainda de aditivos de última geração (por exemplo nanotubos de carbono, nanoargilas, ou fibras de carbono obtidas na fase de vapor) envolve procedimentos complexos e demorados, que originam poucas gramas de produto final. Nestes casos, o "processamento" destes materiais, isto é, a produção de amostras que possam ser caracterizadas do ponto de vista físico e mecânico, implica a adopção de procedimentos tipicamente laboratoriais e dificilmente extrapoláveis para a prática industrial. São

exemplo a fusão e mistura dos materiais em moinhos de pás ou rolos e a subsequente moldagem por compressão a temperatura elevada, ou a manufatura de filmes por vasamento e evaporação de solventes.

Os autores da presente invenção desconhecem a existência de invenções anteriores que tenham sido desenvolvidas com o objectivo de resolver os mesmos problemas. Estão disponíveis tanto extrusoras como linhas de extrusão industriais e laboratoriais que geralmente têm débitos que são várias ordens de grandeza superiores aos proporcionados pela presente invenção (unidades a centenas de quilogramas por hora, em vez de unidades a poucas dezenas de gramas por hora, como é o caso presente). Apenas um fabricante americano refere a produção de uma extrusora vertical (menor modelo da gama disponível) com débitos entre 10 e 115 gramas por hora. A patente U.S. 5,569,429 de 29 de Outubro de 1996 refere-se à solução adoptada para garantir a selagem do fundido junto à extremidade de descarga do parafuso.

#### **Sumário da invenção e vantagens**

A presente invenção procura resolver esta dificuldade através da miniaturização de uma linha de extrusão, mas onde se procurou preservar os conceitos e funcionalidades práticas fundamentais dos processos utilizados na indústria. Tendo-se verificado que a aplicação das regras estabelecidas de *scale-up* das escalas industrial ou laboratorial para a nova escala "micro" conduzia a resultados impraticáveis, foi necessário

lidades por modelação numérica. A linha desenvolvida permite o fabrico de pequenos perfis e filamentos, em ambiente termo-mecânico comparável ao de linhas industriais, utilizando alguns gramas (tipicamente entre 5 a 10) de material.

A micro-linha de extrusão, objecto da presente invenção, baseia-se na miniaturização de uma linha de extrusão, isto é, procura manter os princípios e funcionalidades gerais das linhas de extrusão industriais equivalentes, mas a uma escala muito inferior. Desta forma, e tal como no caso industrial, a micro-linha produz em regime contínuo um extrudido de secção contínua (perfil, ou varão). No entanto, como o regime estacionário de funcionamento é rapidamente atingido, é possível produzir amostras com poucas gramas de matéria-prima. A micro-linha é constituída por uma extrusora monofuso (isto é, uma extrusora constituída essencialmente por um cilindro mantido a temperatura controlada dentro do qual roda um parafuso do tipo Arquimedes a frequência constante), uma cabeça de extrusão, uma tina de arrefecimento e um sistema de enrolamento, montados numa plataforma comum.

A extrusora tem implantação vertical (ao contrário da prática industrial, onde se usa a construção horizontal), de forma a expôr as primeiras espiras do parafuso na tremonha de alimentação e assim assegurar um mais fácil transporte do material sólido. Por outro lado, a remoção do parafuso de dentro da extrusora é conseguida pelo simples accionamento de uma alavanca, e pode ser executada com o

parafuso em rotação e sem desmontar a cabeça de extrusão (ao contrário das máquinas convencionais). Desta forma, pode limpar-se rapidamente o equipamento, verificar o estado do polímero ao longo das espiras do parafuso, ou substituir-se o parafuso por outro com características mais adequadas ao material a processar. A fieira é roscada ao cilindro da extrusora, pelo que a montagem de fieiras com secções transversais distintas é expedita. Finalmente, o rolo de puxo tem velocidade variável, para que se possa ajustar convenientemente ao débito da extrusora, e/ou induzir a orientação molecular desejada.

#### **Breve descrição dos desenhos**

A micro-linha de extrusão e respectivos componentes será a seguir descrita com base nos desenhos representados nas Figuras 1 a 7.

A Figura 1 representa a micro-linha de extrusão propriamente dita, com os diversos componentes fixos numa plataforma comum.

A Figura 2 mostra a constituição da extrusora monofuso vertical.

A Figura 3 representa a tremonha que é montada no topo da extrusora.

A Figura 4 caracteriza geometricamente os parafusos desenvolvidos

A Figura 5 representa os perfis geométricos dos vários parafusos.

A Figura 6 identifica as fieiras que podem ser montadas no corpo da extrusora.

A Figura 7 corresponde à plataforma de fixação dos diversos componentes.

### **Descrição detalhada da invenção**

Conforme se pode observar pelos desenhos anexos, a micro-linha linha de extrusão é constituída por uma extrusora (1) monofuso vertical, uma cabeça de extrusão/fieira (7), uma tina de arrefecimento (17) e um rolo de puxo (19), montados numa plataforma comum (22) (Figura 1). O parafuso (2) da extrusora pode ser substituído por outro mais adequado às características do material a processar. A cabeça de extrusão/fieira (7) pode ser substituída por outra, de dimensão exterior equivalente, mas proporcionado a manufatura de um extrudido com secção transversal distinta.

A extrusora (Figura 2) tem implantação vertical, isto é, tanto o cilindro oco (1), como o parafuso (2) inserido no seu interior, estão dispostos verticalmente. O corpo do cilindro (2) tem três partes distintas. A superior, permite a circulação de um fluido arrefecedor (de modo a evitar a fusão prematura do material a processar). A do meio corresponde ao corpo do cilindro propriamente dito, estando separada da primeira por um rasgo transversal, que

constitui uma pequena barreira térmica. Por sua vez, a sua face exterior está revestida por uma resistência de aquecimento (6). No furo lateral que liga o exterior à secção oca pode roscar-se a cabeça de extrusão/fieira (7), que se destina a enformar o fluxo de fundido. A parte inferior do cilindro (1) permite a fixação à plataforma (22) e está dotada de uma resistência térmica (8), para um melhor controlo da temperatura do conjunto, e uma barreira térmica (9) (disco em teflon). No topo da extrusora deve apoiar-se a tremonha (Figura 3), cuja garganta pode ser arrefecida por meio de circulação de um fluido (facilitando a fluidez da matéria-prima). O parafuso (2), também especificamente concebido para esta máquina, tem cinco zonas geométricas distintas (Figura 4).

As três primeiras (contadas a partir da extremidade apoiada) destinam-se, respectivamente, à recepção e transporte, fusão e pressurização do fundido. A quarta zona encaminha o material para a fieira, enquanto que a extremidade livre assegura a selagem.

O efeito combinado da rotação do parafuso e das temperaturas elevadas do cilindro, provocando o arraste do material ao longo do canal helicoidal, e a sua progressiva fusão, homogeneização, pressurização e bombagem através da fieira, adquirindo a secção transversal do canal de fluxo. As diferentes fieiras representadas na Figura 6 originam outras tantas secções transversais. Os parafusos representados na Figura 5 têm perfis axiais diferentes, divergindo

entre si não só no comprimento relativo de três das cinco zonas geométricas, mas também nas profundidades dos respectivos canais e na possibilidade de se inserirem secções de mistura que promovem as misturas dispersiva e distributiva.

A concepção destes parafusos teve de basear-se em princípios não-convencionais de projecto. Com efeito, a utilização das regras estabelecidas de *scale-up* [1] a partir das características de equipamentos industriais ou laboratoriais mostrou-se inadequada, uma vez que as condições operatórias e as principais dimensões previstas revelaram-se fisicamente incongruentes. Assim sendo, foi necessário recorrer à modelação computacional do processo, recorrendo-se a um programa de computador desenvolvido no Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho [2,3,4]. Este programa prevê, para uma dada geometria da extrusora, uma condição operatória e um material específicos, qual o comportamento do sistema em termos de débito, temperatura do material, perfil de pressões, consumo de potência do motor, taxa de fusão, etc. Desta forma, a definição geométrica dos vários parafusos foi obtida de forma iterativa, considerando o desempenho pretendido (débito, eficácia da fusão, pressão gerada) e as principais propriedades dos materiais processados (nível de viscosidade, gamas de temperaturas de fusão, condutividade térmica).

Após extrusão, isto é, escoamento através da fiação, o fundido é submergido no fluido contido na tina de arrefecimento e depois enrolado numa bobina que gira a ve-

locidade constante. Esta velocidade pode ser ajustada de forma a controlar o diâmetro final do extrudido, e/ou induzir um determinado nível de orientação molecular.

Para além dos elementos descritos, a linha dispõe ainda de elementos de leitura e de controlo das principais variáveis operatórias do processo, nomeadamente a velocidade de rotação do parafuso, a temperatura do cilindro, a velocidade do rolo de puxo e os caudais do fluido de arrefecimento da tremonha e do cilindro.

Para efeitos de manutenção e limpeza, bem como de substituição, pode fazer-se subir o parafuso accionando uma alavanca.

A micro-linha de extrusão é constituída por cinco elementos principais, que estão representados no desenho de conjunto da Figura 1: extrusora, cabeça de extrusão, tina de arrefecimento e rolo de puxo.

A construção da extrusora está esquematizada na Figura 2. Dentro do corpo oco (1) está montado um parafuso (2) acoplado ao motor (11) através do veio (12). Na parte superior do cilindro estão maquinados rasgos (3), sendo a superfície externa coberta pelo anel (4), de forma a gerar dois canais anelares com entrada e saída (5). O corpo principal do cilindro está revestido pela resistência térmica (6). A fieira (7) é roscada a este corpo do cilindro. A face inferior do cilindro está ligada a uma placa (8) que

contém a resistência térmica (10). O disco em Teflon (9) é colocado entre a placa (8) e a plataforma (22). A extrusora é imobilizada na plataforma do conjunto (22) por meio de dois fixadores (25). Sobre o corpo da extrusora é fixada a tremonha tronco-cônica (Figura 3), constituída pelo corpo (13) onde foi maquinado o rasgo anelar (15), e roscado à base (14). Define-se assim um canal anelar, com entrada e saída (16).

Como se ilustra na figura 4, para o mesmo diâmetro externo e comprimento total, do parafuso, pode-se fazer variar o comprimento relativo das zonas (n), (o) e (p) bem com as profundidades ( $t_1$ ) e ( $t_2$ ). O comprimento da zona (q), sem espira, mantêm-se sempre constante, porque determina a ligação ao canal de fluxo da fieira. O mesmo acontece para a zona (r), que contém três discos paralelos afastados entre si que asseguram a selagem relativamente ao avanço do material a ser processado. O parafuso (2) pode ter diferentes configurações (2a a 2d), como se ilustra na Figura 5. As soluções 2c e 2d da figura 5 contêm dispositivos especiais que interrompem a espira principal do parafuso. Na configuração 2c da Figura 5, a espira principal do parafuso é interrompida por um anel transversal, de espessura (e) e diâmetro (f), que define a área útil para avanço do material a ser processado e o obriga ao escoamento a uma taxa de corte mais elevada. Na configuração 2d o disco é substituído por um corpo de comprimento (g) e diâmetro (i), onde foram escavados quatro canais helicoidais de largura (h). Um desses canais está ligado directamente à zona a

montante do parafuso, mas é fechado a jusante. Outro canal tem geometria inversa, isto é, está fechado a montante e aberto a jusante. Os restantes dois canais estão fechados quer a montante quer a jusante. Todas as paredes comuns aos quatro canais tem altura (l), excepto a comum aos dois primeiros e todas as paredes transversais, que têm altura (j). Definem-se assim pequenas folgas para escoamento de polímero, que é sujeito, repetidamente, a taxas de corte muito elevadas.

Na Figura 6 representa-se a cabeça de extrusão/fieira (7), mostrando-se as variantes desenvolvidas (7a), (7b), que produzem secções transversais distintas, sendo a primeira circular e a segunda rectangular.

A tina de arrefecimento (17) é constituída por um reservatório aberto rectangular, contendo duas varas transversais (18) que irão manter o extrudido mergulhado no fluido arrefecedor. A bobina de enrolamento (19) é accionada por um motor (20) de velocidade variável, fixo à plataforma (22) por meio das pegas (21). O motor da extrusora (11) está montado na coluna (23), através da qual pode deslizar por accionamento da alavanca (24).

## Referências

- [1] C. Rauwendaal, *Polymer Extrusion*, Hanser Publishers, 1990
- [2] A. Gaspar-Cunha, *Modelling and Optimisation of Single Screw Extrusion*, Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães (2000).
- [3] A. Gaspar-Cunha e J. A. Covas, *The Design of Extrusion Screws: An Optimisation Approach*, Intern. Polym. Process, 16, 229-240 (2001).
- [4] J. A. Covas, A. Gaspar-Cunha e P. Oliveira, *An Optimization Approach to Practical Problems in Plasticating Single Screw Extrusion*, Polym. Eng. Sci., 39, 443-456 (1999).

Lisboa, 18 de Dezembro de 2003

## REIVINDICAÇÕES

1. Micro-linha de extrusão que mantém os princípios e funcionalidades gerais das linhas de extrusão industriais equivalentes mas miniaturizada de modo a permitir o fabrico em regime contínuo de pequenos perfis e filamentos em ambiente termo-mecânico utilizando apenas algumas gramas de material, tipicamente 5 a 10 g, caracterizada por ser constituída por uma extrusora com implantação vertical formada basicamente por um cilindro (1) mantido a temperatura controlada dentro do qual roda um parafuso do tipo Arquimedes a frequência constante e sobre a qual assenta uma tremonha (13) de descarga do material, uma cabeça de extrusão/fieira (7), uma tina de arrefecimento (17) e um sistema de enrolamento (19), montados numa plataforma comum (22).

2. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação anterior, caracterizada por a extrusora, accionada por um motor (11) montado numa coluna (23) através do qual pode deslizar por intermédio de uma alavanca (24), ter um cilindro vertical oco (1) dividido em três secções distintas, sendo que a superior, que permite a circulação de um fluido arrefecedor, contém dois rasgos externos (3) cobertos por anel (4) de forma a gerar dois canais anelares de entrada e saída (5), a secção intermédia, separada da anterior por um rasgo externo transversal o qual constitui uma barreira térmica, coberta pela resistência térmica (6) de aquecimento e contém um furo horizontal roscado ligando a cavidade interior à face externa para permitir a ligação

à fieira (7), e uma secção inferior que permite a fixação à plataforma e encontra-se ligada a um disco (8) que contém a resistência térmica (10).

3. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação anterior, caracterizada por o cilindro vertical oco (1) da extrusora ter um diâmetro externo de 26 mm e interno compreendido entre 5 e 7mm, a secção superior ter um comprimento 20 mm, a secção intermédia ter um comprimento entre 46 e 48 mm e sendo separada da anterior por um rasgo externo com profundidade de 6 mm e altura de 1 mm, o furo horizontal roscado para ligação à fieira apresentar um diâmetro entre 6 e 10mm e o disco (8) ter um diâmetro de 64 mm.

4. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por a tremonha que assenta na extrusora ser tronco-cônica e apresentar um diâmetro maior compreendido entre 70 e 80 mm, sendo constituída por um corpo (13) roscado à base (14) contendo um rasgo anelar junto à superfície inferior que define um canal anelar (15) com entrada e saída (16) e uma base (14).

5. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizada por o parafuso tipo Arquimedes (2) apresentar uma geometria obtida considerando o desempenho pretendido (débito, eficácia da fusão, pressão gerada) e as principais propriedades dos materiais proces-

sados (nível de viscosidade, gamas de temperaturas de fusão, condutividade térmica)

6. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1 e 5, caracterizada por o parafuso tipo Arquimedes (2) ter um diâmetro externo entre 5 e 7 mm e comprimento entre 90 e 130 mm, sendo acoplado ao veio (12) do motor de velocidade variável (11).

7. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, 5 e 6, caracterizada por o parafuso tipo Arquimedes ter um passo entre 1 a 2 mm e cinco zonas distintas, de comprimento relativo variável, sendo que a primeira (n) tem profundidade de canal ( $t_1$ ) constante compreendida entre 1 e 2 mm, a segunda (o) tem profundidade de canal variável, a terceira (p) tem profundidade de canal constante ( $t_2$ ) compreendida entre 0,3 e 0,6 mm, a quarta (q) não contém espiras e tem um comprimento entre 1 e 3 mm e a quinta (r) contém três anéis com espessura entre 2 e 3 mm, diâmetro entre 5 e 7 mm e separados entre si por 1 mm.

8. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, 5, 6 e 7, caracterizada por o parafuso tipo Arquimedes poder ter inserido na zona (p), onde a espira principal foi interrompida, um anel com espessura (e) entre 1 e 3 mm e diâmetro (f) entre 5 e 6 mm que define a área útil para avanço do material a ser processado e o obriga ao escoamento a uma taxa de corte mais elevada.

9. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, 5 e 6 a 8, caracterizada por o parafuso-tipo Arquimedes poder ter inserido na zona (p) um dispositivo contendo um canal de entrada e um canal de saída com 2 a 3 mm de largura e 10 a 12 mm de comprimento, separados por 3 rasgos com 9 a 11 mm de comprimento e 2 a 3 mm de largura, com paredes laterais (l) de altura entre 0,3 e 0,5 mm, e sendo a parede (j), entre o canal de entrada e o de saída, de altura entre 0,35 e 0,55 mm definindo-se assim pequenas folgas para escoamento de polímero, que é sujeito repetidamente a taxas de corte muito elevadas.

10. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por a cabeça de extrusão/fieira (7) ter dois corpos cilíndricos solidários, sendo o maior, com diâmetro roscado entre 6 e 10 mm, e contendo um furo interior (u) com duas secções distintas, sendo a maior hexagonal com diâmetro equivalente entre 4 e 8 mm e a menor circular, com diâmetros entre 0,5 e 4 mm, ou rectangular, com altura (v) entre 0,5 e 2 mm e largura (x) entre 2 e 5 mm.

11. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por a tina de arrefecimento (17) apresentar uma caixa aberta rectangular de 80x30x20 mm, estando fixados transversalmente no interior duas varas horizontais (17), afastadas 40 mm entre si, as quais mantêm o extrudido mergulhado no fluido arrefecedor.

12. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por o sistema de enrolamento ser constituído por um rolo de puxo e enrolamento (19), com uma bobina de diâmetro entre 4 e 10 mm, acoplado a um motor de velocidade variável (20) fixo à plataforma (22).

13. Micro-linha de extrusão de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por a plataforma rectangular (22) de 600x200 mm, ser dotada de diversos furos e uma coluna vertical (23) com 450 mm de altura, com um apoio regulável em altura por meio da alavanca (24).

Lisboa, 18 de Dezembro de 2003

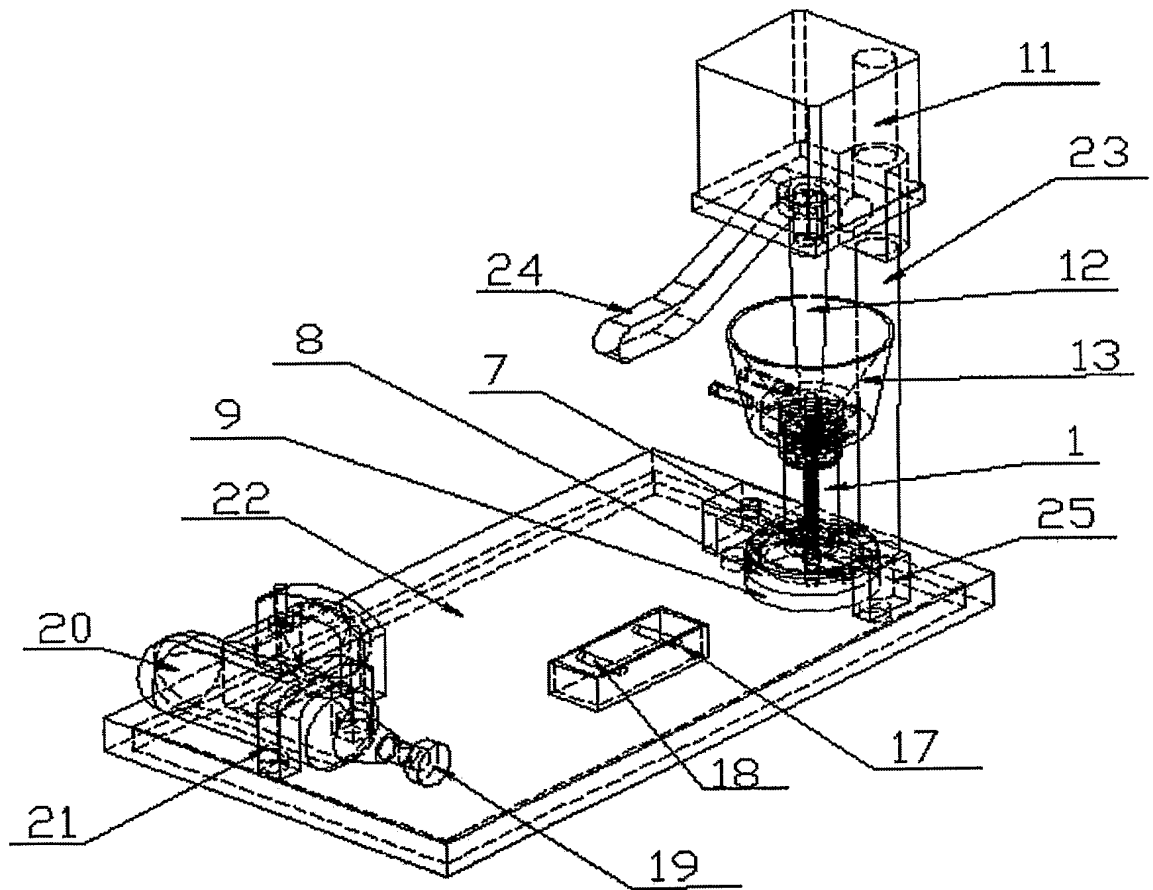


Fig. 1

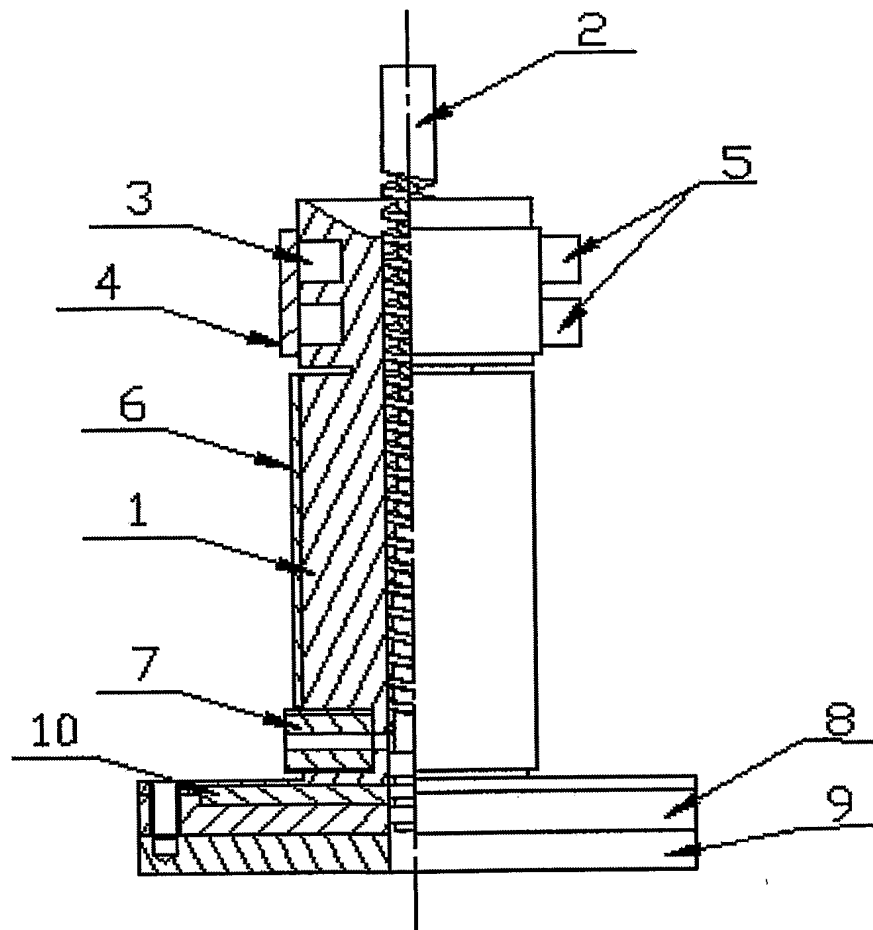


Fig. 2

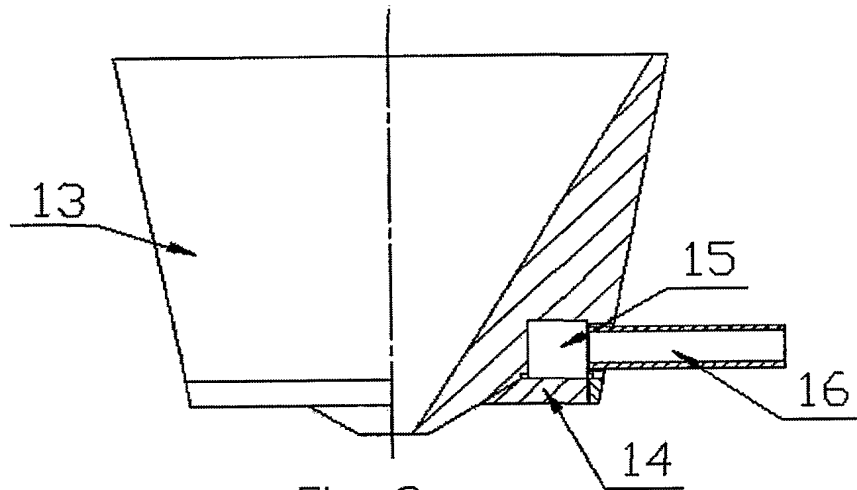


Fig. 3

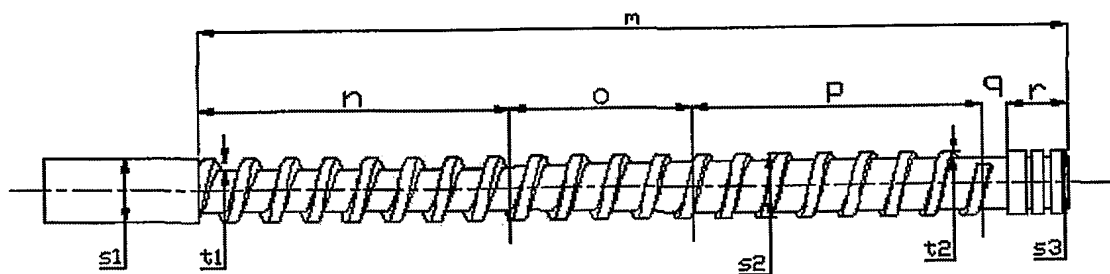


Fig. 4

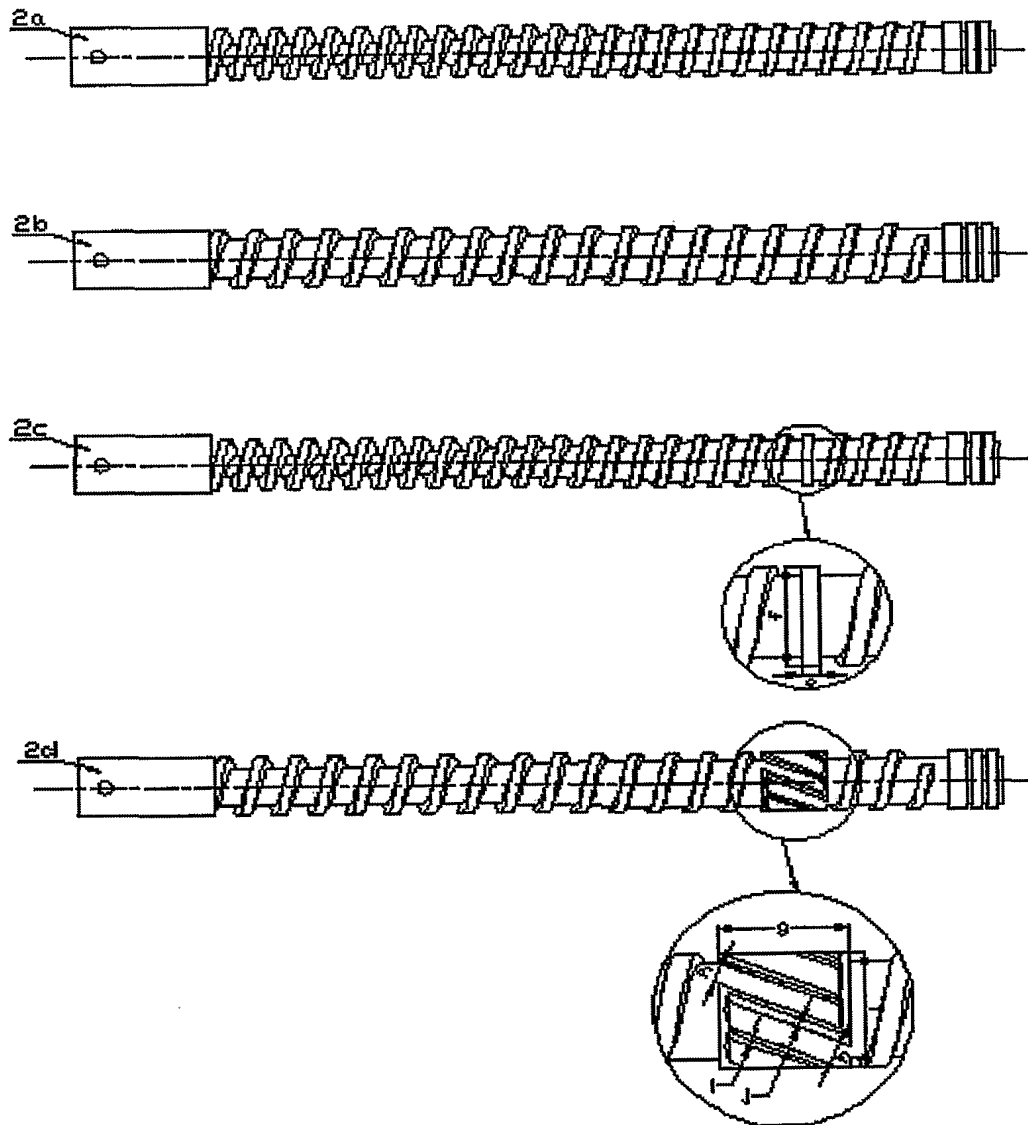


Fig. 5

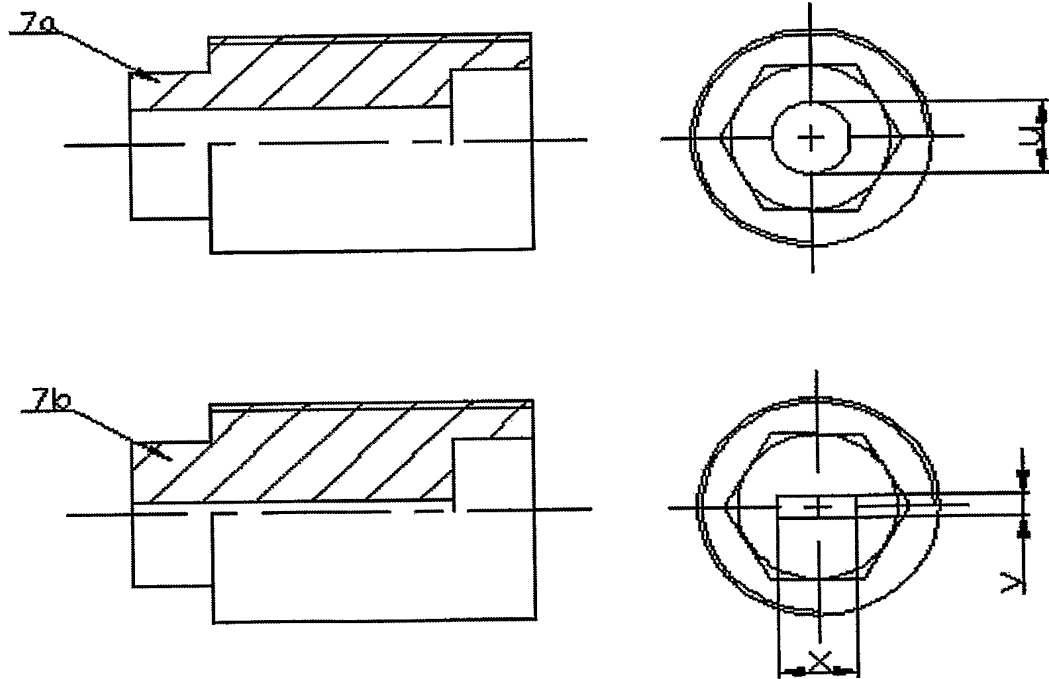


Fig. 6

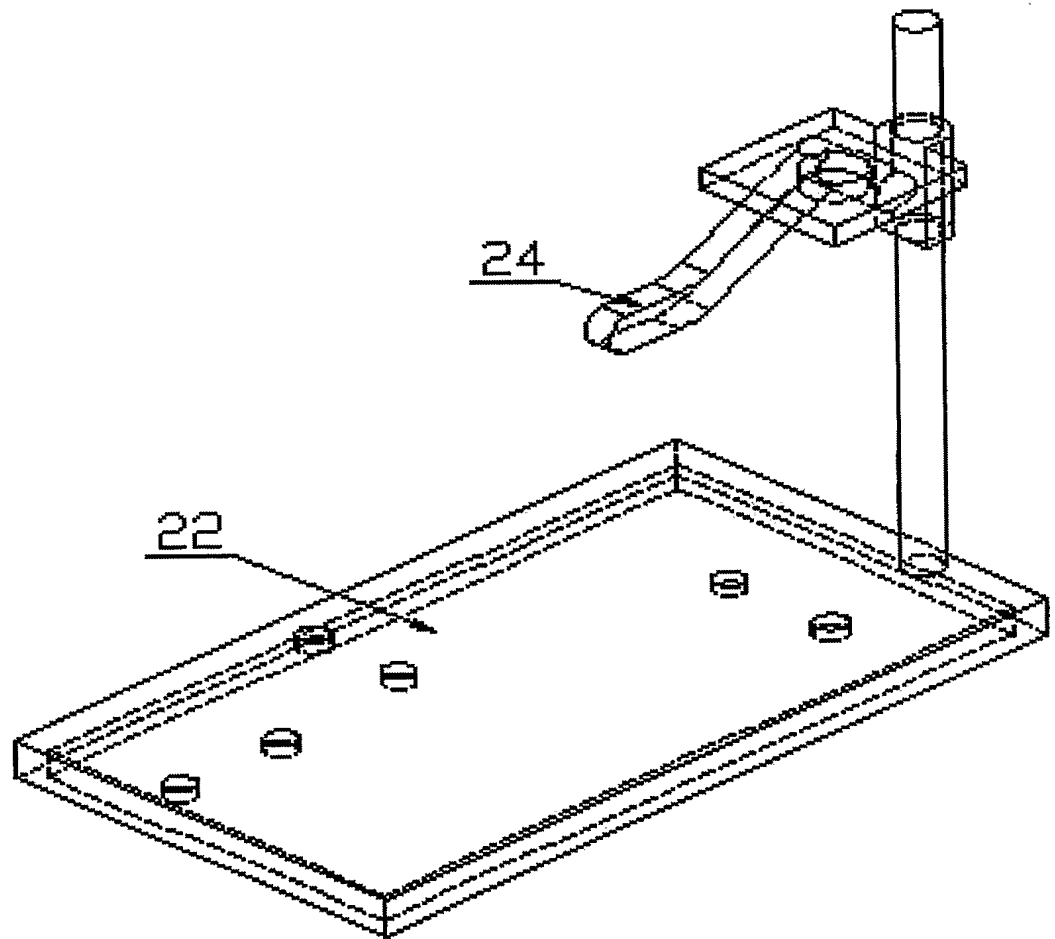


Fig. 7